Soft_TS

Outil de génération de séquencement et de simulation de formes d'onde
Version 5.1
Format des données : entier
Auteur : P. Vincent-Carrefour
Date : Mars 2006
Fermer

Table des matières

A. Introduction 2
B. Principe 2
C. Traitement « nouvelle séquence » 5
D. Description des traitements 6
E. Lecture ou sauvegarde d'un fichier de signal 13
F. Description des paramètres du traitement « simulation de canal » 13
G. Voyants de contrôle 14
H. Remarques sur les traitements et limitations d'utilisation 15
I. Description des menus 16
J. Schéma-bloc 28
K. Exemple de fichier filtre 31
L. Acronymes et lexique des fichiers 32

A. Introduction

« Soft_ts » est un outil de traitement de signal dont le but est de faire en quelques manipulations simples des traitements complexes de traitement de signal. Il est dédié à 5 applications principales :

- **outil didactique pour apprendre à utiliser le traitement de signal numérique** : comprendre les effets de fonctions telles que sous-échantillonnage, calcul de filtre, …
- **définir, simuler et connaître les performances d'une forme d'onde** : utiliser un codage correcteur d'erreur combiné à une modulation pour établir une chaîne de transmission puis simuler les performances en présence de bruit et d'autres imperfections tels qu'erreur d'appairage, bruit de phase, etc.
- **traiter un fichier de données généré par une autre application** : filtrer, ré-échantillonner, corréler avec une donnée de référence, ajuster le gain, corriger la phase, ajouter du bruit ou un brouilleur, etc.
- **simuler un canal de propagation** : ajouter du bruit, simuler un bruit de phase, simuler de l'évasion de fréquence, etc.
- **Fournir des outils d'aide** : calcul de filtres FIR ou IIR, bilan de liaison, calcul des codes BCH, estimation des performances des codes en blocs BCH et RS, etc.

Il permet, au moyen d'une interface graphique de type schéma bloc, de saisir puis simuler un forme d'onde, des traitements de filtrage ou la génération d'un signal.

Suivant le centre d'intérêt et les compétences de l'utilisateur, le logiciel « Soft_ts » s'adapte à son besoin. L'apprentissage ne nécessite que 10 minutes d'attention, à la suite de quoi l'opérateur pourra utiliser efficacement le logiciel. Ces 10 minutes consistent à lire les lignes qui suivent.

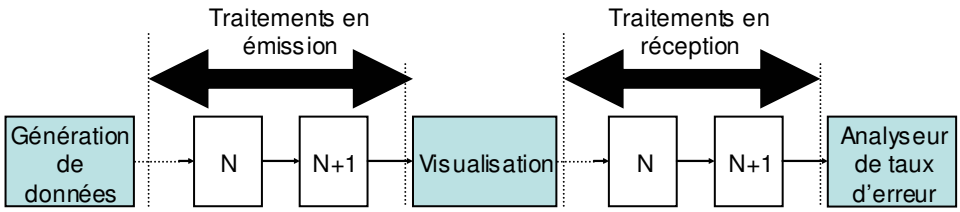
Cette nouvelle version permet d'introduire et de documenter le schéma bloc (l'interface graphique) de la dernière version du logiciel. D'autres modifications mineures ont aussi été apportées (l'option bilan de liaison, l'affichage de la nomenclature des fréquences et modulation 16QAM).

B. Principe

Le logiciel est organisé autour d'un séquenceur. L'opérateur définit un enchaînement de traitements qui sont réalisés de manière séquentielle. La sortie du traitement N correspond à l'entrée du traitement N+1.

Le premier traitement est la génération d'un flot de données et le dernier est le test de taux d'erreur ; ces deux traitements correspondent à un analyseur de taux d'erreur : émission d'un train binaire, réception d'un train binaire, synchronisation entre les deux flux, comparaison et calcul des erreurs ; ils sont automatiquement gérés par le logiciel.

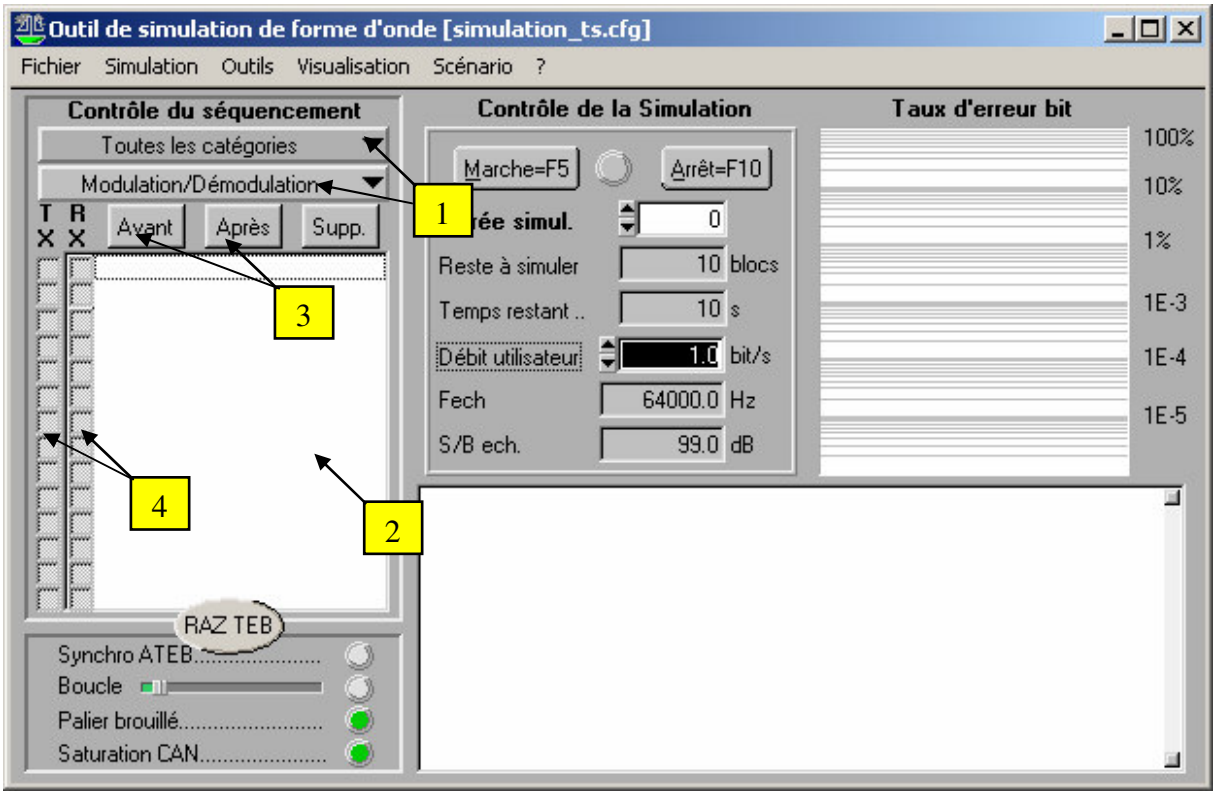
Entre ces deux opérations, on trouve les traitements en émission et les traitements en réception, qui sont définis par l'utilisateur. On trouve aussi des traitements de visualisation : signal temporel, signal en fréquence, diagramme de l'œil, etc.



Le bloc « Génération de données » affiché sur la figure ci-dessous correspond à la partie émission d'un analyseur de taux d'erreur binaire (cf. Description des menus, option simulation puis ATEB) et permet donc de générer un flot de données binaire qui sera analysé dans le bloc « analyseur de taux d'erreur » pour estimer le TEB de la chaîne.

L'utilisateur doit donc construire les traitements à réaliser. Pour cela, il faut utiliser les 3 boutons de la zone « contrôle du séquençage » de la fenêtre principale. Il faut dans l'ordre :

1. Choisir le type de traitement dans la liste proposée ;
2. Sélectionner un emplacement dans le séquençage déjà fixé ;
3. Indiquer s'il faut insérer le nouveau traitement après ou avant la sélection ;
4. Indiquer si le traitement doit être réalisé en émission (tâche Tx), en réception (tâche Rx) ou les deux.



Le traitement apparaissant en haut de la fenêtre **2** correspond au premier traitement réalisé en émission (si la case Tx correspondante est cochée) et au dernier en réception (si la case Rx correspondante est aussi cochée).

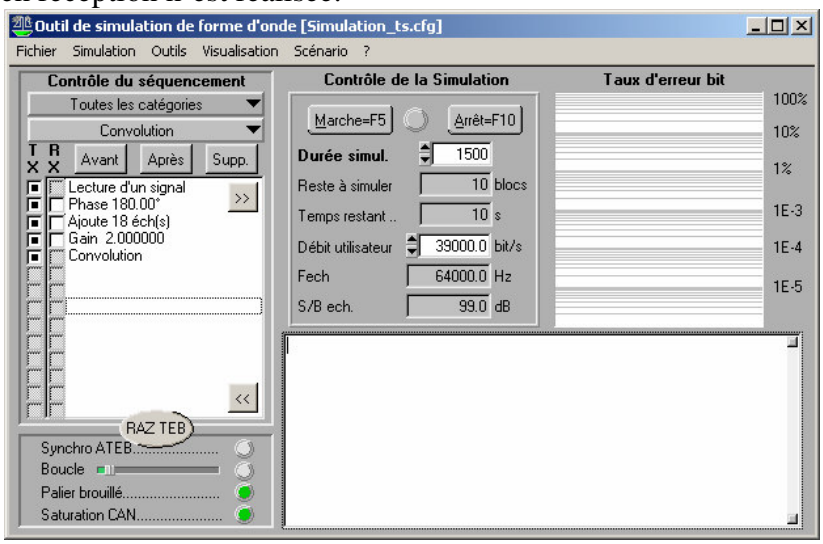
Le traitement apparaissant en bas de la fenêtre **2** correspond à la dernière tâche réalisée en émission et à la première en réception. Ce sont les informations issues de ce traitement qui sont exploitées par les modules de visualisation.

Par exemple, le séquençage suivant consiste à faire dans l'ordre :

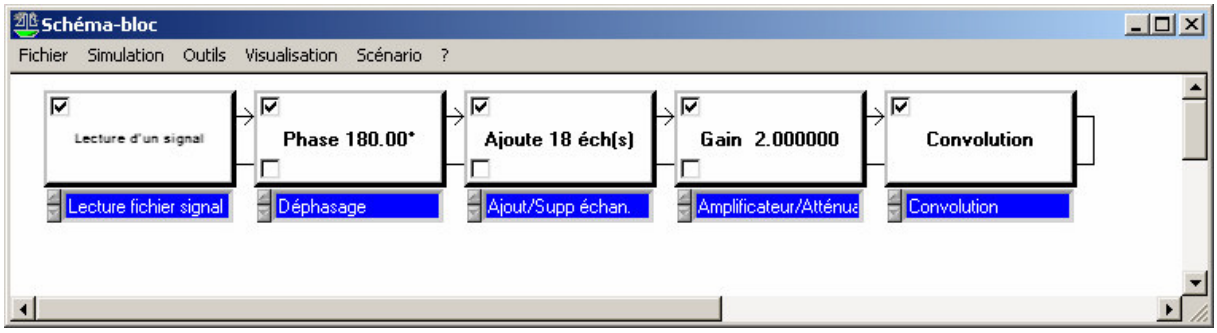
- Lecture d'un fichier contenant des échantillons
- Déphasage de 130°.
- Suppression de 18 échantillons.
- Augmentation du niveau du signal de 3dB.
- Convolution du résultat avec un autre signal.

Le résultat pourra être visualisé.

Aucune action en réception n'est réalisée.

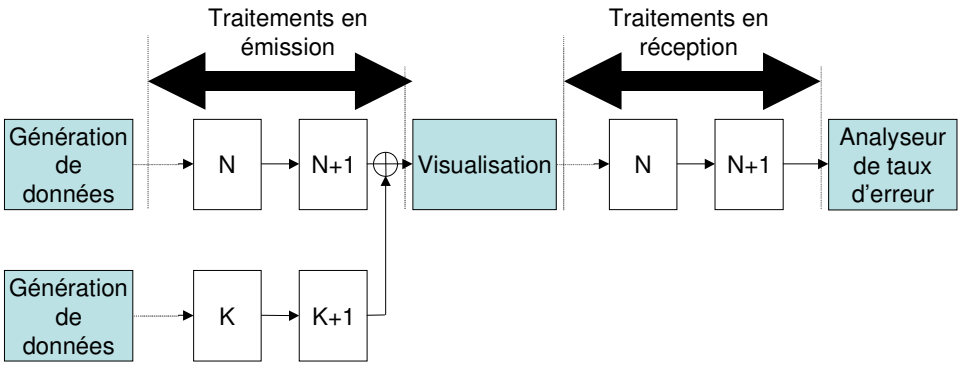


Une interface graphique conviviale permet à l'opérateur de visualiser la séquence sous forme d'un shéma-bloc mais aussi de la modifier.



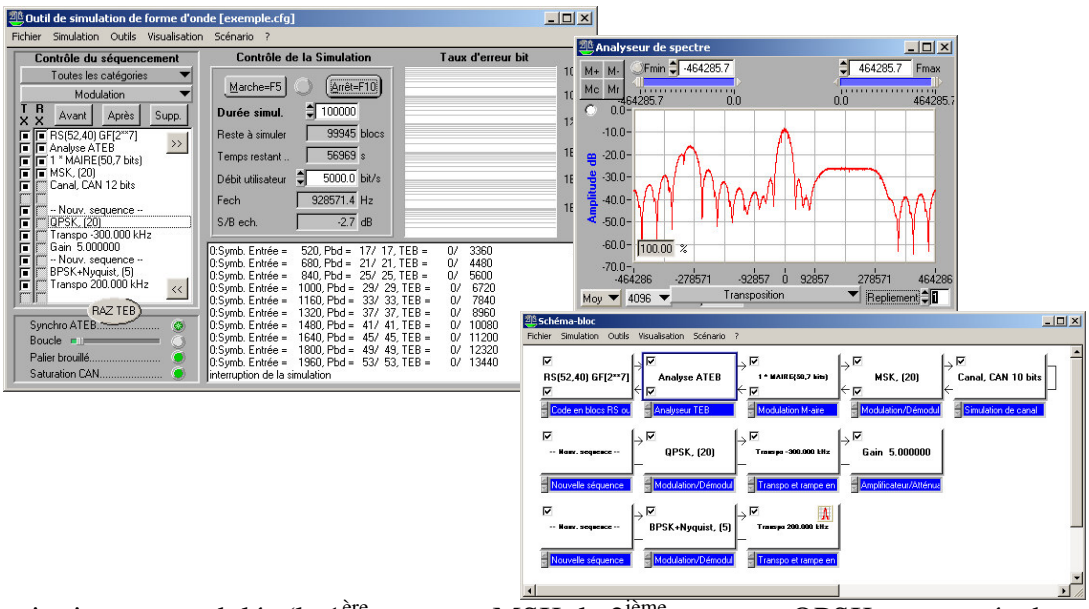
C. Traitement « nouvelle séquence »

Pour disposer d'une simulation plus réaliste, il peut être nécessaire d'avoir plusieurs signaux en entrée pour simuler l'interaction entre ces autres signaux comme par exemple l'influence de l'intermodulation ou de canaux adjacents. Pour cela, il existe une séquence permettant d'indiquer qu'un nouveau signal d'entrée est généré.



Dans l'exemple ci-contre, la simulation engendre 3 signaux différents :

- Le premier est un signal MSK avec code correcteur,
- le second est un signal QPSK de même largeur (20 échantillons par symbole) à 200 kHz du premier signal
- le dernier est un signal BPSK avec filtrage de Nyquist et ayant une largeur de bande 4 fois plus forte à 300 kHz du premier signal (5 échantillons par symbole).



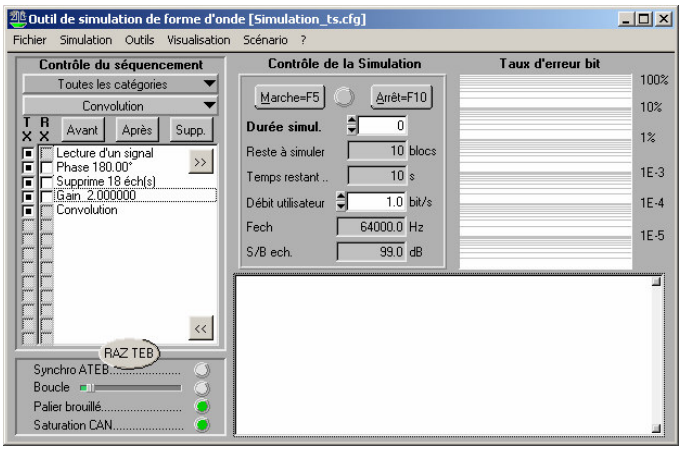
Ces trois signaux modulés (la 1ère porteuse MSK, la 2ième porteuse QPSK transposée de -300kHz et la 3ième porteuse BPSK décalée de 200kHz) sont sommés entre entrée de la fonction simulation de canal (**Canal, CAN 12 bits** sur la figure) afin de générer le signal résultant. Ainsi les traitements en réception vont traiter un signal combinant ces signaux modulés.

Notons qu'il n'y a aucun traitement des séquences secondaires en réception et que la fréquence d'échantillonnage est calculée à partir du premier signal.

D. Description des traitements

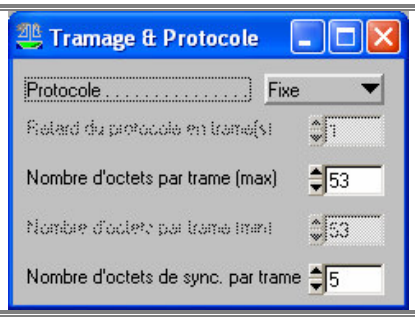
L'utilisateur peut choisir parmi environ 30 traitements. Certains fonctionnent en émission et en réception (en réception, le traitement réalise la fonction inverse de celle effectuée en émission), en émission seulement ou en réception seulement. Suivant les possibilités, les cases Tx et Rx sont modifiables ou non.

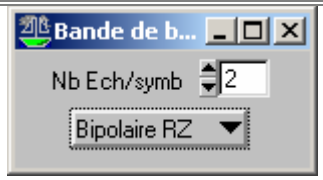
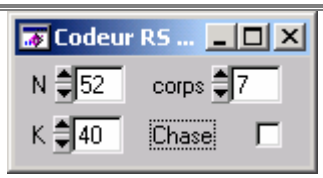
À chaque traitement sont, si nécessaire, associés des paramètres. Ces derniers sont modifiables par l'opérateur et, lorsque le traitement est sélectionné, une fenêtre s'ouvre automatiquement, permettant à l'utilisateur de modifier les paramètres en question. Par exemple, dans l'exemple ci-contre, en ayant sélectionné le 4ième traitement « Amplificateur / Atténuateur » (représenté sur la figure par le texte « Gain 2.000000 »), une fenêtre s'ouvre permettant de modifier le gain de l'amplificateur.

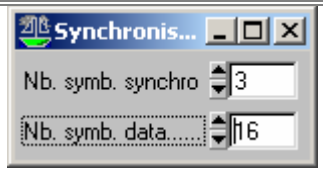
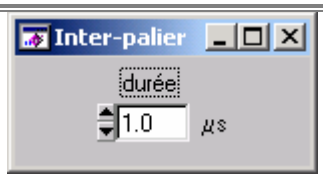
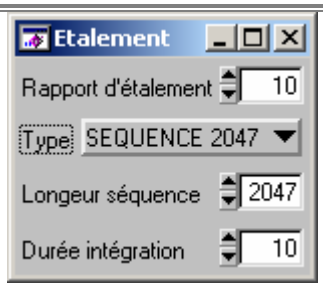
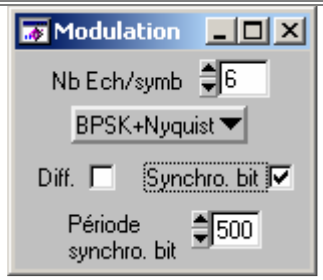


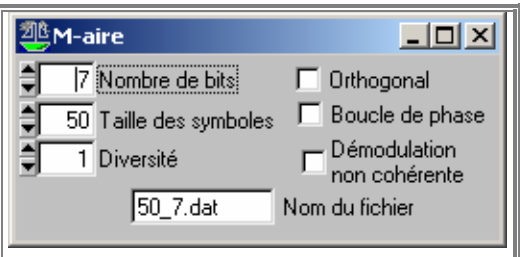
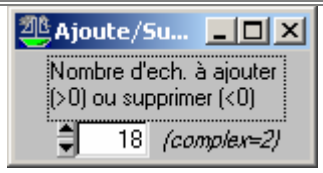
N.B Certains traitements n'ont pas de paramètre.

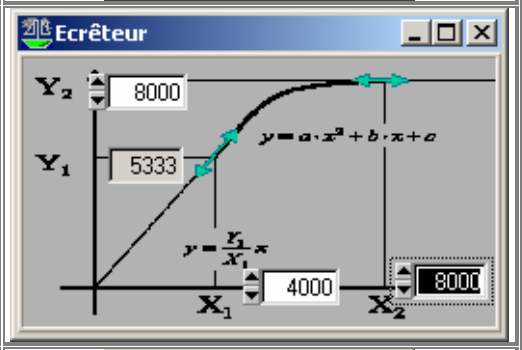
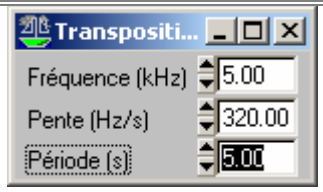
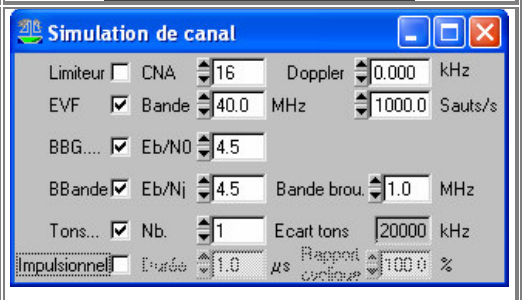
Le tableau suivant décrit les différents traitements pouvant être réalisés et, pour chacun, détaille les paramètres. La première colonne indique le nom du traitement, la deuxième décrit sommairement son action, la troisième explicite les différents paramètres permettant de configurer le traitement, la quatrième indique si le traitement peut être utilisé en émission, en réception, en émission et en réception, en émission ou en réception (respectivement Tx, Rx, Tx et Rx, Tx ou Rx). La dernière colonne présente la fenêtre qui permet de modifier les paramètres et qui s'ouvre lorsque le traitement est sélectionné.

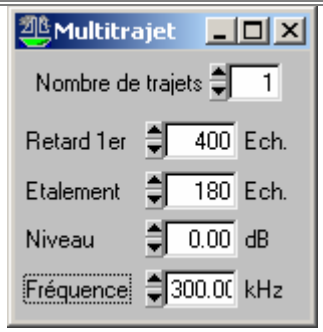
Traitement	Description	Paramètres	Tx et/ou Rx	Fenêtre
Nouvelle Séquence	Marque le début d'une nouvelle séquence pour générer un signal en émission	aucun	Tx	-
Tramage & protocole	Simulation d'une transmission par trame avec possibilité de simuler un algorithme adaptatif	• Protocole • Retard du protocole • Nombre d'octets par trame (max) • Nombre d'octets par trame (min) • Nombre d'octets de synchronisation par trame	Tx et Rx	

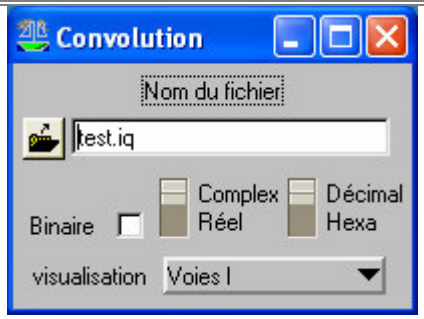
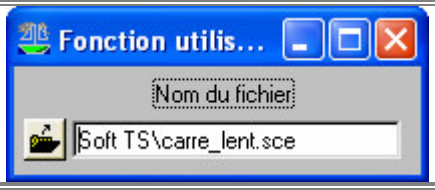
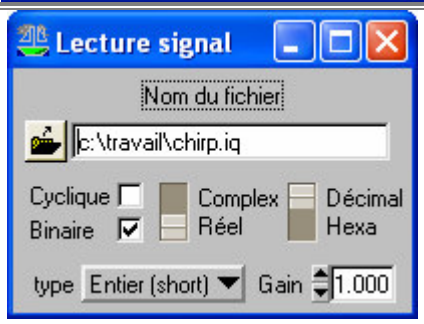
Bande de base	Génération d'un code sur la bande de base	• Nombre d'échantillons par symbole • Les codes sont : ○ NRZ ○ RZ ○ Biphase ○ Polaire RZ ○ Bipolaire RZ	Tx et Rx	
Analyseur TEB	Introduction d'un analyseur de taux d'erreur bit	aucun	Tx et Rx	-
Scrambler	Embrouilleur	aucun	Tx et Rx	-
Oscilloscope	Visualise le signal temporel dans une fenêtre graphique et affiche les valeurs numériques	aucun	Tx et/ou Rx	-
Code en blocs RS ou BCH	codage / décodage RS ou BCH	• **N** : nombre de bits après codage • **K** : nombre de bits avant codage • **Corps** : taille du corps localisateur (1 pour un code BCH) • **Chase** : indique si le décodage est fait par un algorithme classique ou de type Chase	Tx et/ou Rx	
Code de Golay (24,12)	codage / décodage du code de Golay étendu (24,12)	Aucun	Tx et/ou Rx	-
Codeur convolutif	Codage / décodage d'un code convolutif	• **Ngéné** : nombre de générateurs • **Contrainte** : longueur de contrainte du code • **Retard** : retard au décodage	Tx et/ou Rx	
Diversité	Diversité ou répétition en émission et donc recombinaison en réception	• **N de 1 à 32** : ordre de la diversité • **Taille symbole** : taille des symboles à répéter en bits	Tx et/ou Rx	
Entrelaceur bit Entrelaceur symbole	Entrelaceur / désentrelaceur de type bit Entrelaceur / désentrelaceur de type symbole	• **N1** : nombre de lignes • **N2** : nombre de colonnes • **de type bloc** : de type bloc ou de type convolutif	Tx et/ou Rx	
Sur-échantillonnage	Sur-échantillonnage du signal	• **Facteur** : facteur de sur-échantillonnage	Tx et/ou Rx	
Sous-échantillonnage	Sous-échantillonnage du signal	• **Facteur** : facteur de sous-échantillonnage	Tx et Rx	

Synchronisation	Ajout en émission ou suppression en réception d'un motif de synchronisation périodique	• **Nb. symb. synchro** : taille du motif de synchronisation en symboles • **Nb. symb. data** : nombre de symboles de données entre deux motifs de synchronisation	Tx et/ou Rx	
Inter-palier	Ajout en émission ou suppression en réception d'un inter-palier, i.e. du nombre d'échantillons correspondant à la valeur du paramètre	• **durée** : durée de l'inter-palier en microsecondes	Tx et/ou Rx	
Étalement	Réalisation d'un étalement de spectre par séquence directe	• **Rapport d'étalement** • **Type de séquence :** ○ Tout à 1 ○ Barker à 11 bits ○ Séquence PN de 2047 bits ○ Aléatoire • **Longueur de la séquence** (au maximum 11 pour la séquence de Barker et 2047 pour la séquence PN) • **Durée de l'intégration :** nombre de symboles à intégrer après désétalement pour décider de la synchronisation	Tx et/ou Rx	
Modulation/Démodulation	Module ou démodule un signal	• **Nb Ech/symb** : nombre d'échantillons par symbole • **Diff**. : indique si la démodulation est de type différentielle ou cohérente • Les modulations sont : ○ BPSK ○ QPSK ○ 8PSK ○ MSK ○ GMSK ○ BPSK+Nyquist ○ QPSK+Nyquist ○ 8PSK+Nyquist ○ O-QPSK ○ O-QPSK+Nyquist ○ 2FSK ○ 4FSK ○ 8FSK ○ Porteuse ○ 16QAM ○ 16QAM+Nyquist • **Synchro. bit**. : indique si la poursuite de la synchronisation symbole est activée ou non • **Période synchro. bit**: période de la poursuite en nombre de symboles	Tx et/ou Rx	

Modulation M-aire	Ajoute ou supprime un étalement M-aire. Ce dernier peut être orthogonal ou non et la démodulation peut être cohérente ou quadratique.	• **Nombre de bits** : Taille des symboles avant étalement • **Taille des symboles** : longueur des symboles après étalement M-aire • **Diversité** : nombre de répétitions des séquences M-aire • **Orthogonal** : indique si les séquences doivent être orthogonales (le rapport d'étalement est alors une puissance de 2) ou non • **Nom du fichier** : si non orthogonal, nom du fichier contenant les séquences d'étalement • **Boucle de phase** : active ou non la boucle à verrouillage de phase en démodulation • **Démodulation non cohérente** : précise le type de démodulation	Tx et/ou Rx	
Générteur de TEB	Génération d'un taux d'erreur binaire par introduction d'erreurs aléatoires	• **TEB à générer** : valeur du TEB a simuler	Tx ou Rx	
Dither (générateur de bruit)	Ajout de bruit	• **Rapport S/B (dB)** : amplitude du bruit à générer exprimé en fonction du rapport S/B entre le signal en entrée et le niveau de bruit	Tx ou Rx	
Brouilleur CW	Génération d'un brouilleur de type porteuse pure ou modulée en fréquence	• **Niveau :** amplitude du brouilleur en absolu • **Fréq. min** : fréquence minimum du brouilleur • **Fréq. max** : fréquence maximum du brouilleur • **Période**: période du brouilleur	Tx	
Déphasage	Rotation de phase	• **Rotation de phase** : déphasage à appliquer en degrés	Tx ou Rx	
Ajout/Supp d'échan.	Pour synchroniser visuellement deux signaux, ajout ou suppression d'échantillons en début de simulation (choix d'un peigne de démodulation	• **Nombre d'ech. à ajouter (>0) ou supprimer (<0)** : amplitude de la synchronisation (pour se décaler d'un nombre entier d'échantillons	Tx ou Rx	

	par exemple)	complexe, il faut mettre un nombre pair		
Amplificateur / Atténuateur	Régler la dynamique du signal	• **Gain (en linéaire)** : gain à appliquer sur le signal en entrée	Tx ou Rx	
Écrêteur	Permet d'écrêter un signal avec une partie linéaire, parabolique puis limitée	• **X1** : abscisse maximale de la zone linéaire • **X2** : abscisse minimale pour l'écrêtage • **Y2** : valeur maximale après écrêtage X représente la valeur du module de l'amplitude du signal avant écrêtage et Y après transformation	Tx ou Rx	
Bruit de phase	Simulation d'un bruit de phase	• **Fréq.** : fréquence du point • **Seuil** : niveau du bruit pour la fréquence précédente • **Plancher** : niveau du bruit de phase pour les fréquences supérieures à celle indiquée	Tx	
Transpo et rampe en fréq.	Ajouter une variation de fréquence fixe et sinusoïdale	• **Fréquence (kHz)** : offset de fréquence • **Pente (Hz/s)** : pente maximale du Doppler sinusoïdal • **Période (s)** : période du Doppler sinusoïdal	Tx	
Dérive temporelle	Ajoute une dérive temporelle (positive ou négative)	• **Amplitude (µs/s)** : amplitude de la dérive temporelle	Tx	
Simulation de canal	Simuler un canal de propagation avec BBG et brouilleur	La description des paramètres est faite dans le paragraphe F.	Tx	

Multitrajet	Simuler des trajets multiples avec un étalement temporel et fréquentiel	• **Nombre de trajets** : Nombre de trajets à simuler • **Retard 1er** : retard du 1er trajet en nombre d'échantillons • **Etalement** : écart entre le 1er et le dernier trajet en nombre d'échantillons • **Niveau** : niveau relatif des trajets diffus en dB • **Fréquence** : écart en fréquence entre le trajet principal et les trajets secondaires	Tx	
Inversion de spectre	Inverser le spectre du signal	aucun	Tx ou Rx	-
Filtrage FIR	Filtrer en utilisant les coefficients donnés dans le fichier indiqué	• **Nom du fichier filtre** : nom du fichier qui contient les coefficients du filtre Les coefficients du filtre sont soit calculés au moyen de l'option *conception de filtre* du menu *Outils* soit saisis dans le fichier texte (voir l'exemple d'un fichier filtre dans § K)	Tx et/ou Rx	 Cliquez sur l'icône pour ouvrir une fenêtre permettant de sélectionner le fichier désiré
Filtrage CIC2	Utiliser le filtre COMB d'ordre 2	• **Facteur** : facteur (ou puissance) du filtre COMB	Tx et/ou Rx	
Filtrage CIC5	Utiliser le filtre COMB d'ordre 5	• **Facteur** : facteur (ou puissance) du filtre COMB	Tx et/ou Rx	
Filtrage IIR	Filtrage de type IIR	• **Genre** : type de filtre (BESSEL, BUTTERWORTH, TCHBYCHEFF, ELLIPTIQUE) • **Type** : passe-haut, passe-bas, passe-bande ou coupe-bande • **Fc/Fe** : fréquence de coupure normalisée • **Degré** : ordre du filtre	Tx et/ou Rx	

Convolution	Comparaison entre le signal et un signal de référence	• **Nom du fichier** : nom du fichier contenant le signal de référence (de même format que celui utilisé pour sauvegarder un fichier : cf. « Sauvegarde fichier de signal ») • **Binaire** : fichier de type binaire ou texte • **Complex Réel** : fichier contenant un signal réel ou un signal complexe • **Décimal Hexa** : si fichier de type texte, format des données • **visualisation** : type d'opération et donc nature du signal en sortie du traitement : ○ Convolution ○ Comparaison des voies I ou Q ○ Rapport des signaux ○ Alternance signal d'entrée, signal de convolution ○ …	Tx	
Estimation S/B	Module d'estimation du rapport S/B	**aucun**	Tx et Rx	
Fonction utilisateur	Faire appel à un traitement écrit par l'utilisateur (scénario)	• **Nom du fichier** : nom du fichier contenant le code du traitement	Tx ou Rx	
Lecture fichier signal	Lecture de données contenues dans un fichier (cf. E pour la description des formats)	• **Nom du fichier** : nom du fichier contenant le signal • **Cyclique** : lire le fichier une fois ou de manière cyclique • **Binaire** : fichier de type binaire ou texte • **Complex Réel** : fichier contenant un signal réel ou un signal complexe • **Décimal Hexa** : si fichier de type texte, format des données • **Type** : type des données : entier, long ou réel • **Gain** : gain linéaire à appliquer au signal (permet le recadrage de la dynamique)	Tx	

Sauvegarde fichier signal	Écriture des données dans un fichier (cf. E pour la description des formats)	• **Nom du fichier** : nom du fichier où écrire le signal • **Binaire** : fichier de type binaire ou texte • **Format pour la voie I/Q** : si fichier de type texte, format pour écrire la chaîne dans le fichier	Rx	

E. Lecture ou sauvegarde d'un fichier de signal

Les fichiers en lecture peuvent être de 3 types :

- Des fichiers binaires avec des données réelles ou complexes avec un format de type 16 (Entier), 32 (Long) ou 64 bits (Réel) ;
- Des fichiers textes avec le même type de données ; pour les données de type entier ou long, le format peut être décimal ou hexadécimal ;
- Des fichiers WAV. Pour ces fichiers tous les formats ne sont pas supportés mais lors de la lecture du fichier il y a conversion automatique. Les formats supportés sont Mode=1 ou 2 (mono ou stéréo), Format=8 (octet) ou 16 bits (entier). Consultez la documentation appropriée sur les formats RIFF pour plus d'information.

En écriture, on retrouve les mêmes formats avec les restrictions suivantes :

- Pour les fichiers binaires, le format de sauvegarde est complexe avec des données de type long ou réel suivant le programme (il existe une version de programme travaillant en entier et une autre travaillant en réel ; l'utilisateur peut connaître le format des données du programme en ouvrant la fenêtre Version);
- Pour les fichiers textes, l'utilisateur spécifie le format de sortie au moyen de la chaîne de caractères qui sera utilisé par le programme (il faut utiliser le même format que celui employé par la fonction « printf » en langage C);
- Pour les fichiers WAV : le format de sortie est Mode=2 (stéréo), Format=16 bits.

F. Description des paramètres du traitement « simulation de canal »

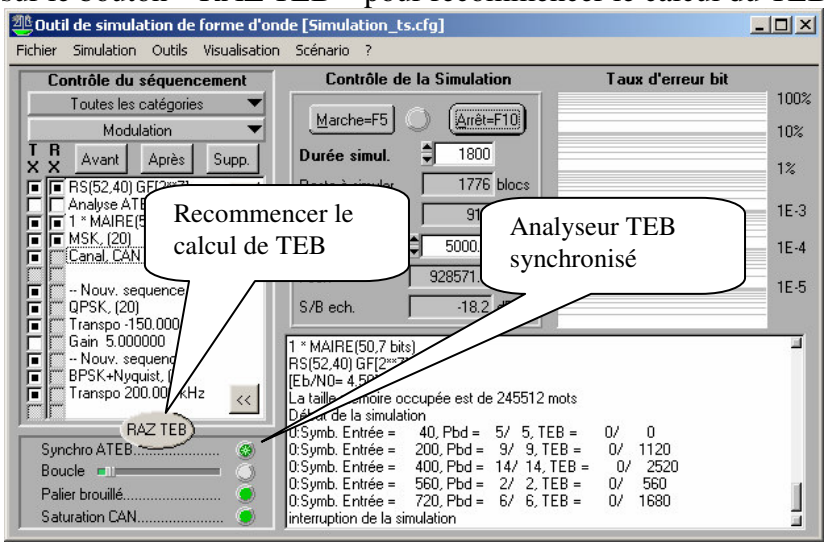
Limiteur : permet de limiter le signal, après ajout du bruit et des brouilleurs. Il s'agit d'un limiteur dur.
CNA : indique le nombre de bits du CNA en émission.
Doppler : valeur du décalage en fréquence à appliquer au signal avant ajout des brouilleurs.
EVF : indique si le signal est un signal à étalement de spectre par évasion de fréquence.
Bande : largeur de la bande de saut si le signal est en EVF.
Sauts/s: fréquence de saut dans le cas d'un signal à évasion de fréquence.
BBG : indique s'il faut rajouter du bruit blanc Gaussien.
Eb/N0: rapport Eb/N0 dans le cas où le bruit blanc Gaussien est ajouté.
BBande : indique s'il faut rajouter un brouilleur à bande partielle.
Eb/Nj: rapport Eb/Nj dans le cas d'un brouilleur (à bande ou à tons).
Bande brou : largeur de bande en fréquence du brouilleur à bande partielle

Tons : indique s'il faut rajouter un brouilleur à tons.
Nb : nombre de brouilleurs pour le brouilleur multi-tons.
Ecart tons : écart en fréquence entre les tons du brouilleur à tons. Calculé en fonction de la largeur de bande et du nombre de tons
Impulsionnel : indique si le brouilleur (à bande ou à tons) est impulsionnel.
Durée : durée de l'impulsion en µs.
Rapport cyclique : rapport cyclique du brouilleur impulsionnel.

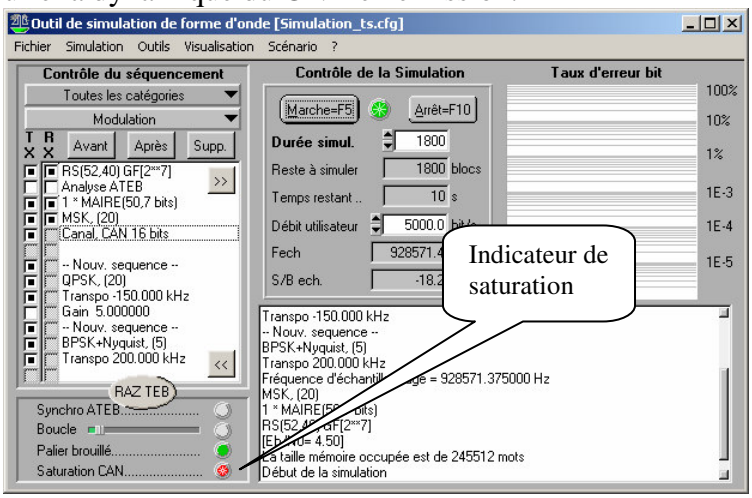
G. Voyants de contrôle

Dans la fenêtre principale :

- un voyant lumineux devient vert lorsque l'analyseur de TEB est synchronisé ; ceci indique que le comptage des erreurs est en cours. L'utilisateur peut cliquer sur le bouton « RAZ TEB » pour recommencer le calcul du TEB.



- un autre voyant lumineux devient rouge lorsque l'amplitude du signal est plus importante que ce que peut supporter le convertisseur analogique numérique spécifié : c'est un cas de saturation du signal. Pour régler ce problème, il faut réduire la dynamique du CNA en émission.



- Les deux autres voyants, « palier brouillé » et « boucle » indique respectivement un palier brouillé en mode EVF (le voyant devient rouge) et

l'indicateur d'accrochage de la boucle à verrouillage de phase si celle si est utilisée (cf. fonction Modulation/Démodulation).

H. Remarques sur les traitements et limitations d'utilisation

Ce paragraphe donne quelques informations complémentaires sur les différents traitements. La seconde colonne indique le nombre que le traitement peut être utilisé dans une même séquence.

Les troisième et quatrième colonnes indiquent la nature du signal en entrée et en sortie du traitement à savoir si le signal est de type numérique (lettre N) ou analogique (lettre A)[1] lorsque le traitement est applique en émission. La valeur « A ou N » indique que le traitement peut être appliqué aussi bien sur un signal analogique que numérique. Pour un traitement appliqué en réception, l'inverse doit être utilisé : l'entrée devient la sortie et inversement.

La dernière colonne donne quelques informations complémentaires.

Traitement	**Nombre maximale d'utilisations**	**Nature du signal en entrée**	**Nature du signal en sortie**	**Remarques**
Nouvelle séquence	4	A	N	Permet de générer quatre autres signaux indépendamment les uns des autres (plusieurs signaux modulés, la lecture d'un fichier, un brouilleur, …)
Tramage & protocole	1	N	N	-
Bande de base	1	N	N	Le nombre d'échantillons par symbole doit être pair (à cause des codes RZ, …)
Analyseur TEB	3	N	N	-
Scrambler	1	N	N	Il s'agit d'un embrouilleur autosynchronisant construit à partir d'une séquence PN de longueur 2^{34}-1
Oscilloscope	1	A ou N	A ou N	-
Code en blocs RS ou BCH	4	N	N	Le corps localisateur est de dimension inférieure ou égale à 8. Le code BCH est automatiquement calculé en fonction de la distance demandée ; ainsi les valeurs N et K peuvent être modifiées. Le nombre d'hypothèses pour le décodage Chase est modifiable dans la fonction « paramètres avancés » du menu Simulation. **ATTENTION** : Le décodeur de Chase est géré globalement, donc lorsque plusieurs codes sont utilisés, tous utilisent ou non l'algorithme de Chase.
Code de Golay (24,12)	1	N	N	-
Codeur Convolutif	1	N	N	-
Diversité	1	N	N	-
Entrelaceur bit	1	N	N	-
Entrelaceur symbole	1	N	N	-
Sur-échantillonnage	10	A	A	En émission la fonction réalise un sur-échantillonnage et en réception elle réalise la fonction inverse, i.e. un sous-échantillonnage.
Sous-échantillonnage	10	A	A	En émission la fonction réalise un sous-échantillonnage et en réception elle réalise la fonction inverse, i.e. un sur-échantillonnage.
Synchronisation	1	N	N	Le motif de synchronisation est constitué de symboles nuls.
Inter-palier	1	A	A	L'inter-palier ne peut être utilisé que dans le mode EVF, i.e. qu'il faut avoir validé le paramètre EVF du traitement simulation de canal.
Étalement	1	N	N	L'étalement ne peut être utilisé que dans le cas d'une modulation à 2 états (BPSK ou MSK)

[1] Un signal numérique est un signal représentant un flot de symbole binaire (symbole de 1 bit ou bit, symbole de 8 bits ou octet, …) et un signal analogique représentant les autres types de signaux (un signal modulé par exemple). Une séquence correcte doit respecter un enchaînement logique i.e. la nature du signal en sortie du traitement N doit être de même nature que le signal en entrée du traitement suivant.

Modulation/Démodulation	4	A	N	Le filtrage de Nyquist est défini dans la fonction « paramètres avancés » du menu Simulation ; Pour les modulations de type FSK, l'indice de modulation est modifiable dans la fonction « paramètres avancés » du menu Simulation ; il n'y a pas de synchronisation de rythme pour ces modulations. En démodulation, il est possible de mettre en œuvre une boucle de Costas si les options correspondantes dans la fonction « paramètres avancés » du menu Simulation sont correctement sélectionnées La synchronisation bit ne fonctionne pas en MSK et en GMSK. La démodulation du 16QAM n'est pas validée. Si la modulation est de type porteuse, les données provenant de l'ATEB ne sont pas prises en compte.
Modulation M-aire	1	N	N	Après le traitement M-aire, il faut obligatoirement ajouter un traitement de type modulation pour que la démodulation M-aire fonctionne. Dans la solution la plus simple, il faut utiliser une modulation BPSK avec 1 échantillon par symbole. Le fichier contenant les séquences non orthogonales est un fichier binaire d'octets valant 0 ou 1.
Générateur de TEB	4	N	N	-
Dither (générateur de bruit)	1	A	A	-
Brouilleur CW	1	A	A	-
Déphasage	1	A	A	-
Ajout/Supp d'échan.	1	A ou N	A ou N	-
Amplificateur / Atténuateur	10	A	A	-
Écrêteur	1	A	A	Le seuillage est fait sur le module. La phase reste inchangée.
Bruit de phase	1	A	A	Le bruit de phase est simulé par la pente entre l'origine et un point spécifié ainsi que par un plancher de bruit
Transpo et rampe en fréq.	4	A	A	
Dérive temporelle	1	A	A	
Simulation de canal	1	A	A	
Multitrajet	1	A	A	
Inversion de spectre	1	A	A	
Filtrage FIR	4	A	A	l'utilisateur peut définir et utiliser autant de filtres qu'il le désire, sachant que les simulations sont optimisées pour une utilisation simultanée de 4 filtres au plus
Filtrage CIC2	1	A	A	
Filtrage CIC5	1	A	A	
Filtrage IIR	1	A	A	A manipuler avec quelques précautions … pas complètement validé
Convolution	1	A	A	
Estimation S/B	1	A	A	Le principe consiste à faire une FFT sur 1024 points, chaque point correspondant à la convolution entre le signal d'entrée et le signal de sortie conjugué. Le rapport entre le maximum de la FFT et la valeur moyenne (estimation du bruit) donne le rapport signal sur bruit. Pour l'instant, cette valeur est affichée dans une fenêtre DOS.
Fonction utilisateur	10	A ou N	A ou N	
Lecture fichier signal	1	A ou N	A ou N	
Sauvegarde fichier signal	1	A ou N	A ou N	

I. Description des menus

Fichier

Nouveau **Ctrl+N** Suppression du séquençage en cours, pour en définir un nouveau.

Charger **Ctrl+L** Chargement d'un séquençage préalablement sauvegardé ; l'extension par défaut est « *.cfg ».

Sauvegarder **Ctrl+S** Sauvegarde du séquençage en cours dans un fichier ; l'extension par défaut est « *.cfg ».

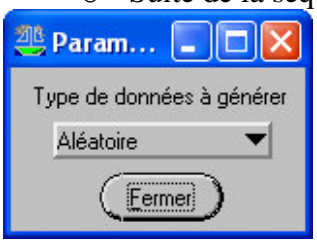
Schéma-bloc Ouvre ou ferme la fenêtre représentant le schéma-bloc du séquençage. Cette fenêtre permet de visualiser et de modifier la séquence, en ajoutant ou en supprimant des traitements, dont on peut modifier le type de tâche ou les paramètres associés. Se référer au paragraphe « Schéma-bloc » ci-après.

Quitter **Ctrl+F4** Arrêt du programme. Si une simulation est en cours, il faut l'arrêter avant de quitter le programme. Le séquençage en cours est toujours sauvegardé dans le fichier de configuration par défaut « simulation_ts.cfg » (ou celui sélectionné par l'utilisateur).

Simulation

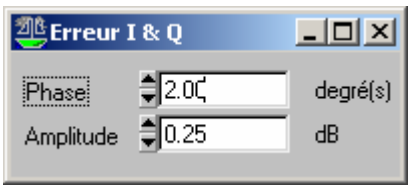
ATEB : Définition de la séquence générée par l'analyseur de taux d'erreur. L'utilisateur a le choix entre différents types de séquences :

- Séquence PN de 2047 valeurs
- Aléatoire
- Tout à 0
- Tout à 1
- Alternance de 0 et de 1
- Suite de la séquence 0 0 1



La modification peut être faite en temps réel, mais des erreurs peuvent être générées lors de la transition, car l'émission et la réception ne sont pas synchronisées sur le changement du type de séquence.

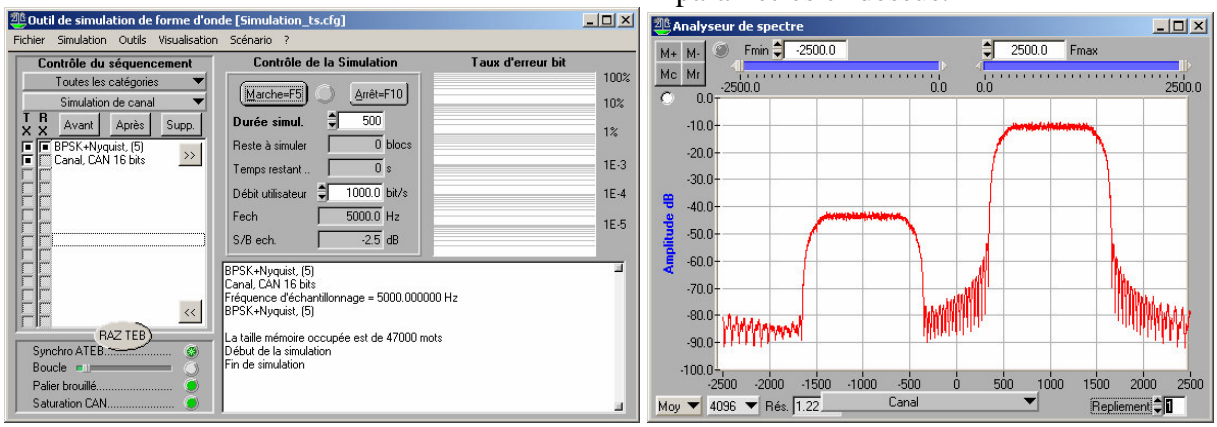
Erreur voies I et Q : Lors d'une simulation, ceci permet de simuler une erreur d'appairage des voies I et Q. L'utilisateur fixe l'erreur de phase et d'amplitude entre les deux signaux I et Q qu'il faut simuler.



Pour que ces paramètres soient pris en compte, il faut que l'utilisateur ait introduit la fonction « Simulation de canal »

dans le séquençage et que la tâche Tx soit validée. Sinon, l'erreur n'est pas simulée.

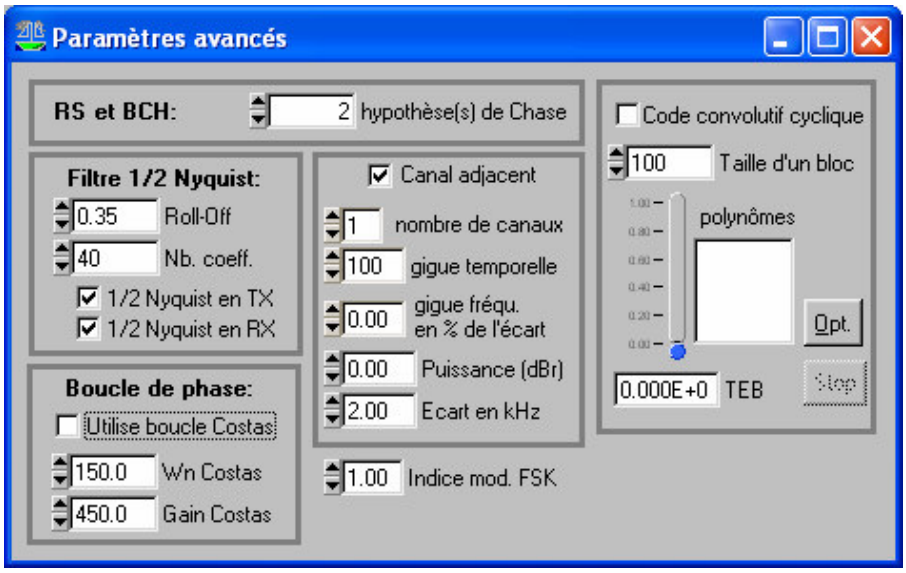
Exemple : Modulation BPSK avec 1 kHz de Doppler (à programmer dans les paramètres de la fonction « Simulation de canal »), et les paramètres ci-dessus.



Paramètres avancés : Cette option permet d'ouvrir une fenêtre qui permet de fixer différents paramètres. La fenêtre est représentée ci-après.

Les différents paramètres qui peuvent être programmés sont :

- Dans le cas d'utilisation d'une tâche de type « Code en blocs RS ou BCH » avec décodage de Chase, le nombre d'hypothèses de Chase ;
- Dans le cas de l'utilisation d'un code convolutif cyclique, l'utilisateur peut utiliser un autre jeu de polynômes, qui sera optimisé pour le point de fonctionnement en cours de simulation ;



- Pour une modulation avec filtrage ½ Nyquist, l'utilisateur peut fixer les paramètres du filtre (facteur de roll-off et nombre de coefficients) et indiquer si le

filtrage de ½ Nyquist est appliqué en émission et/ou en réception ;

- Pour une modulation FSK, l'utilisateur peut modifier l'indice de modulation, égal à 1 par défaut ;
- Dans le cas d'une démodulation de phase cohérente, l'utilisateur peut forcer l'utilisation d'une boucle de phase (par opposition à une démodulation parfaite), de type boucle de Costas, et fixer les paramètres de la boucle (bande et gain) ;
- Lorsque la tâche « Simulation de canal » est utilisée, l'utilisateur peut simuler des canaux adjacents. Les paramètres sont : le nombre de canaux, l'amplitude relative de chacun des canaux adjacents (le paramètre Puissance (dBr) qui permet de faire un tirage aléatoire de la puissance de chacun des canaux), la gigue temporelle (dispersion temporelle des canaux les uns par rapport aux autres, en nombre d'échantillons), l'écart en fréquence et, dans le cas d'un canal à EVF, la gigue fréquentielle (à chaque palier EVF, amplitude du tirage aléatoire de la fréquence porteuse de chacun des canaux adjacents).

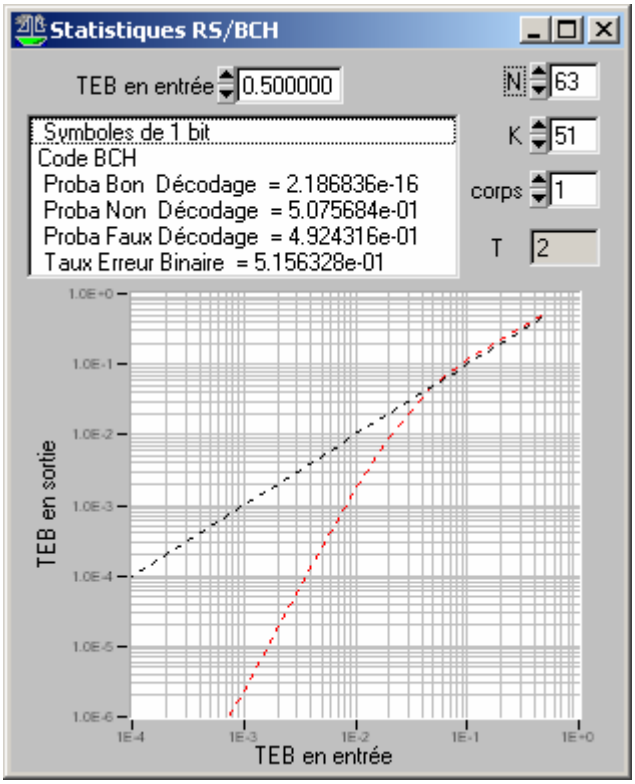
Marche **F5** En validant cette option (ou en cliquant sur le bouton Marche=F5) l'utilisateur démarre une simulation. Le nombre de blocs simulés est indiqué dans la case «**Durée simul.** ». Le nombre de blocs restant à simuler ainsi qu'une estimation de la durée restante de la simulation sont périodiquement affichés dans les cases correspondantes.

Arrêt **F10** Cette option permet d'interrompre une simulation en cours ; l'utilisateur peut aussi cliquer sur le bouton Arrêt=F10).

Outils

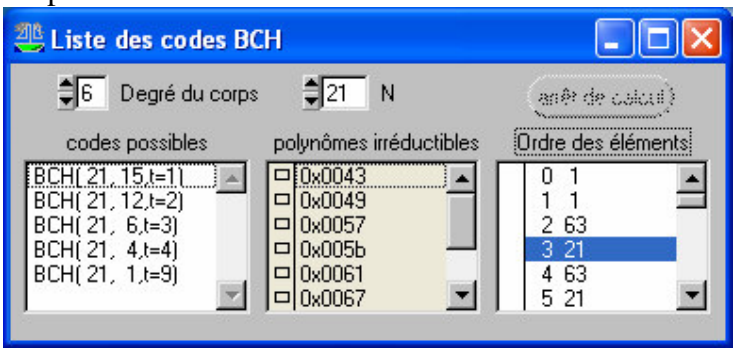
Stat. RS/BCH : En fonction du code en blocs spécifié (les valeurs N : nombre de bits après codage, K : nombre de bits avant codage et corps : taille du corps localisateur) et à partir d'un taux d'erreur symbole, cet outil calcule les différentes probabilités de décodage, non décodage et faux décodage du code RS (corps>1 et $N>=2^N-1$) ou BCH (corps=1). Il calcule aussi le TEB final. L'ensemble de ces calculs est fait de manière statistique (combinatoire…).

La courbe $TEB_{sortie}(TEB_{Entrée})$ est tracée sur le graphique pour des valeurs comprises entre 0.01% et 50% en rouge. La courbe en noir correspond à la courbe X=Y.

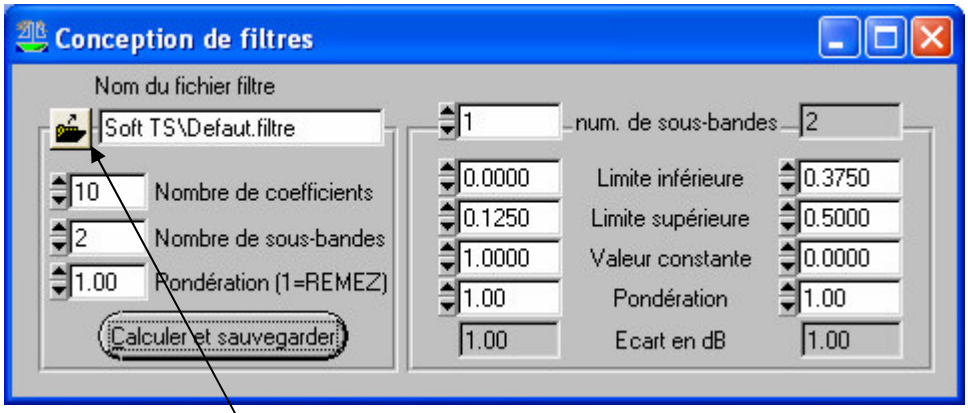


Liste codes BCH : Cet outil calcule l'ensemble des codes BCH possibles en fonction du degré du corps de Galois, du nombre de symboles après codage (le paramètre N) et de l'élément générateur du code (par sélection d'un élément dans la liste « Ordre des éléments »). Pour information, la liste des polynômes irréductibles du degré demandé (Degré du corps) est affichée dans la liste du milieu.

Dès que l'utilisateur modifie un des paramètres, la liste des codes possibles est réactualisée.



Conception de filtre : Au moyen de cet outil, l'opérateur peut définir un filtre FIR qui sera automatiquement calculé en fonction des caractéristiques, puis exploité dans un séquençage.

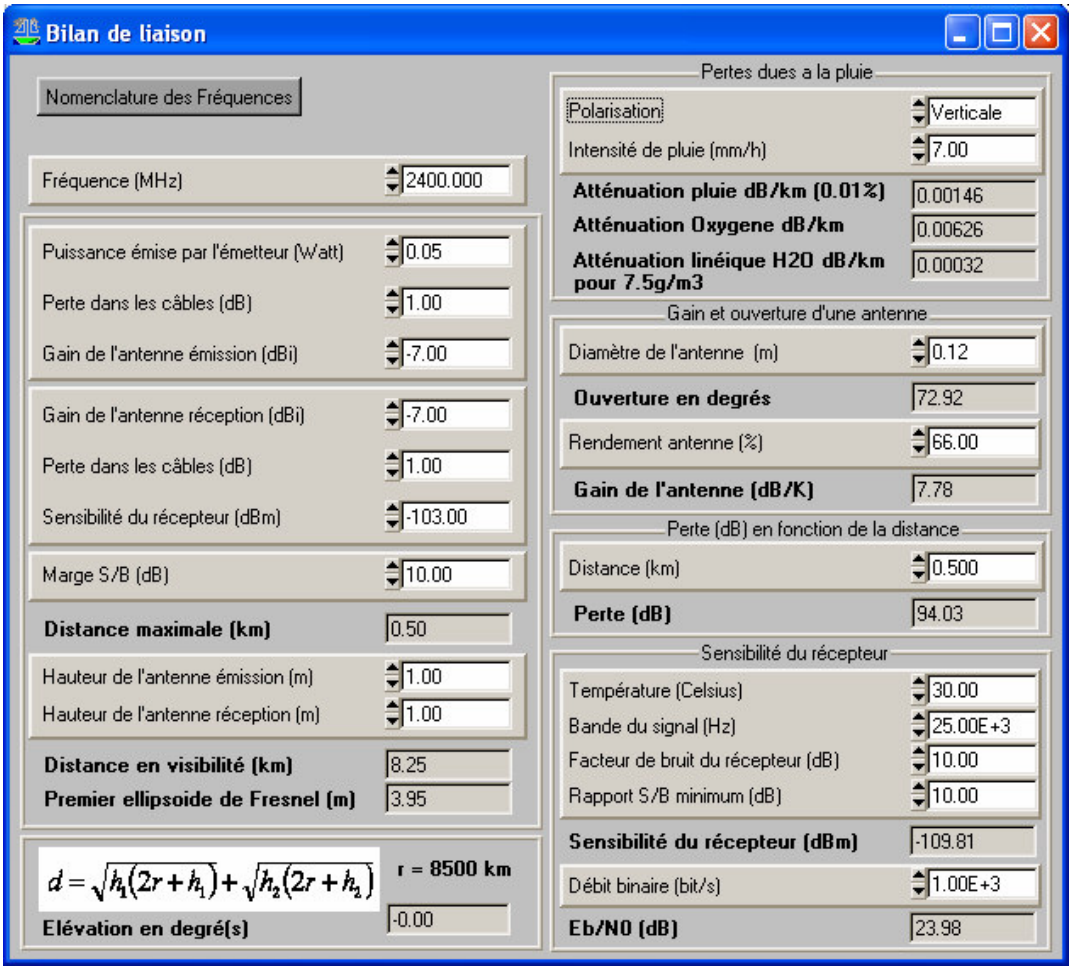


Cliquez sur l'icône à côté du nom du fichier filtre pour ouvrir une fenêtre permettant de sélectionner un nom de fichier filtre existant

Pour créer un nouveau filtre dans la fenêtre « Conception de filtres », la procédure est

- charger un fichier filtre existant et lir les paramètres affichés ;
- changer le nom du filtre ;
- modifier tel ou tels paramètres ;
- cliquer sur le bouton « Calculer et sauvegarder »
- il faut faire attention d'entrer le nom du nouveau filtre avant de lancer le calcul, sinon on remplace un ancien filtre par un autre;

Bilan de liaison : A partir de caractéristiques radio telles que fréquence utilisée, puissance de l'émetteur, hauteur et gain des antennes émission et réception, cet outil permet de calculer un bilan de liaison, i.e. d'estimer la distance maximale pour laquelle une communication est possible. Il permet aussi de calculer l'ouverture et le gain d'une antenne en fonction de sa taille et de la fréquence, la sensibilité d'un récepteur, les pertes dues à la pluie et la zone de visibilité.

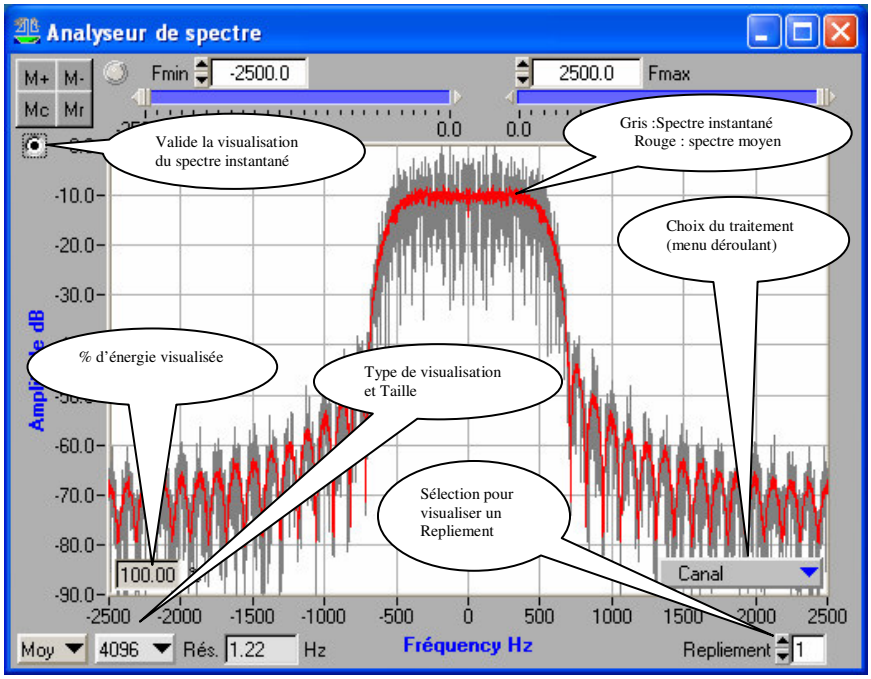


Temps CPU : Cette option permet d'afficher le temps CPU consacré à chacune des tâches réalisées. Ceci permet d'évaluer grossièrement la complexité d'une tâche par rapport à une autre.

Debug fonction utilisateur : Valide le mode pas à pas lors de l'exécution des fonctions utilisateurs.

Visualisation

Spectre : Cela permet d'ouvrir une fenêtre qui affiche le spectre d'un signal. Le signal correspond, par défaut, au résultat du dernier traitement en émission. L'utilisateur peut modifier ce choix et choisir le résultat d'un autre traitement du séquençage.



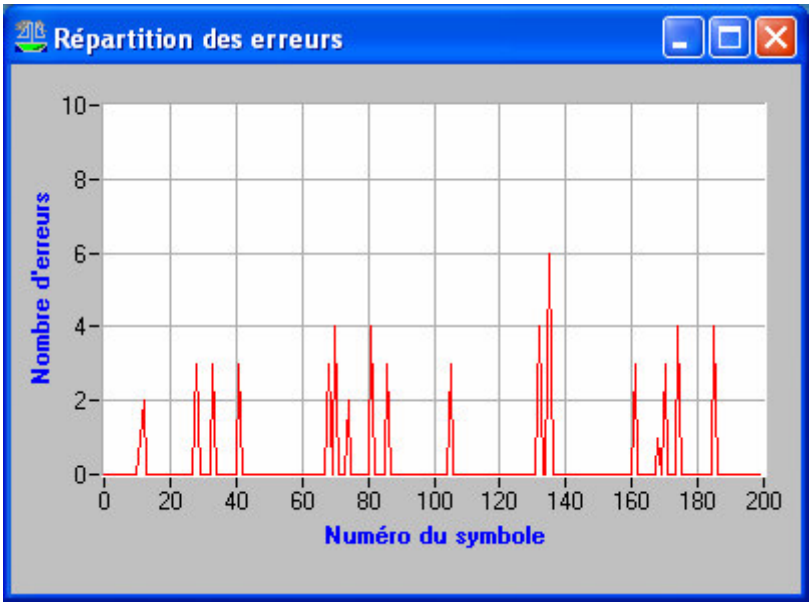
L'utilisateur peut afficher une partie du spectre, modifier la taille (ou le nombre de points) de la fenêtre de la FFT, générer un repliement pour voir son effet ou gérer une mémoire (mémoriser un spectre pour le réafficher plus tard). Il peut aussi visualiser le spectre moyen, maximum (fonction MAX HOLD d'un analyseur de spectre) ou instantané. Lors de la conception d'un filtre, le spectre du filtre calculé est aussi affiché dans cette fenêtre.

Le menu déroulant en bas de la fenêtre (indiquant « canal » sur la figure) permet de visualiser le spectre à la sortie de chaque boîte

Il existe aussi une fonction mémoire qui permet de mémoriser un spectre (**M+** pour mémoire plus ou **M-** pour mémoire moins), puis de visualiser plus tard se spectre mémorisé (**Mr** pour mémoire rappel). Enfin, le bouton **Mc** (pour mémoire clear) permet d'effacer la mémoire. Lorsque le repliement de spectre est supérieur à 1, le fonction de rappel mémoire (Mr) ne fonctionne pas.

Erreur :

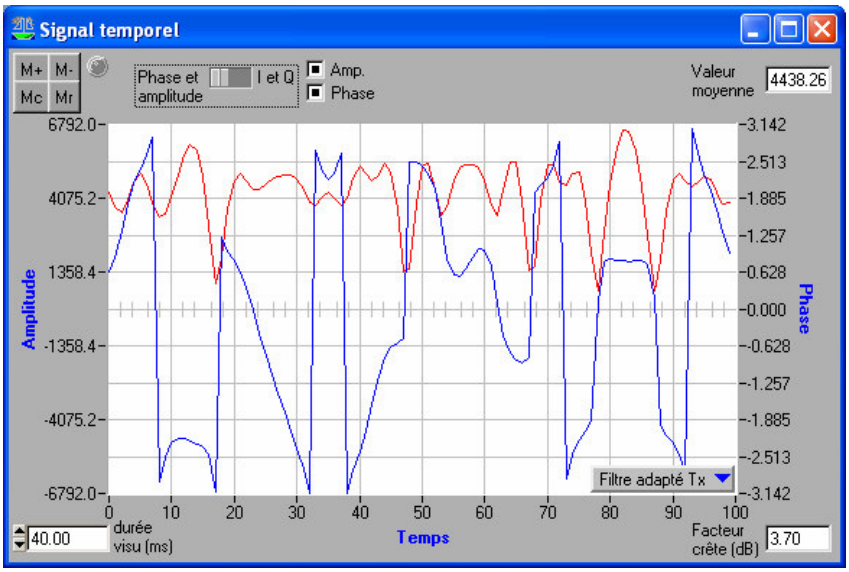
Cette option permet d'ouvrir une fenêtre dans laquelle s'affiche la répartition des erreurs en fonction du temps. Par exemple, dans le cas de l'utilisation d'un code RS, l'affichage indique le nombre de mots faux pour chaque code RS.

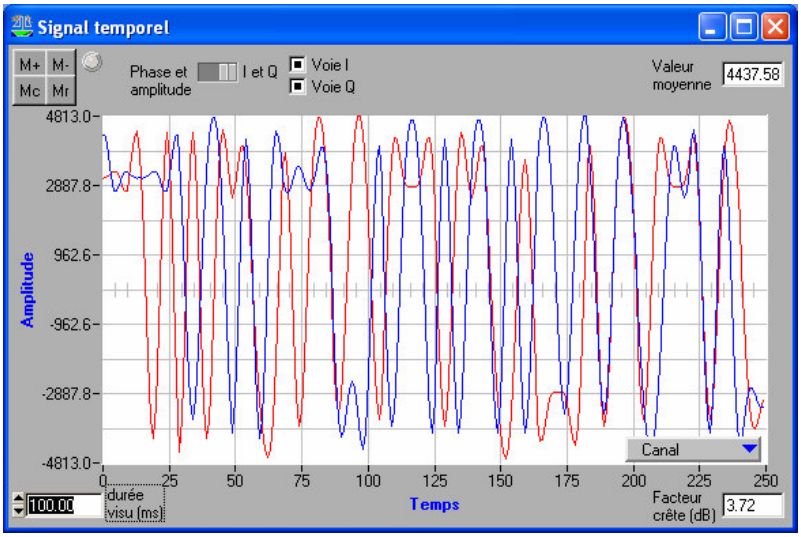


Temporel :

Cette option permet d'ouvrir une fenêtre qui affiche le signal temporel, suite au dernier traitement en émission. Il est possible de visualiser les signaux en phase et en quadrature (voies I en bleu et Q en rouge) ou de visualiser l'amplitude (en bleu) et la phase du signal (en rouge).

L'axe des abscisses indique le nombre d'échantillons qui visualisés et la durée de la visualisation correspond à la durée totale affichée dans la fenêtre.

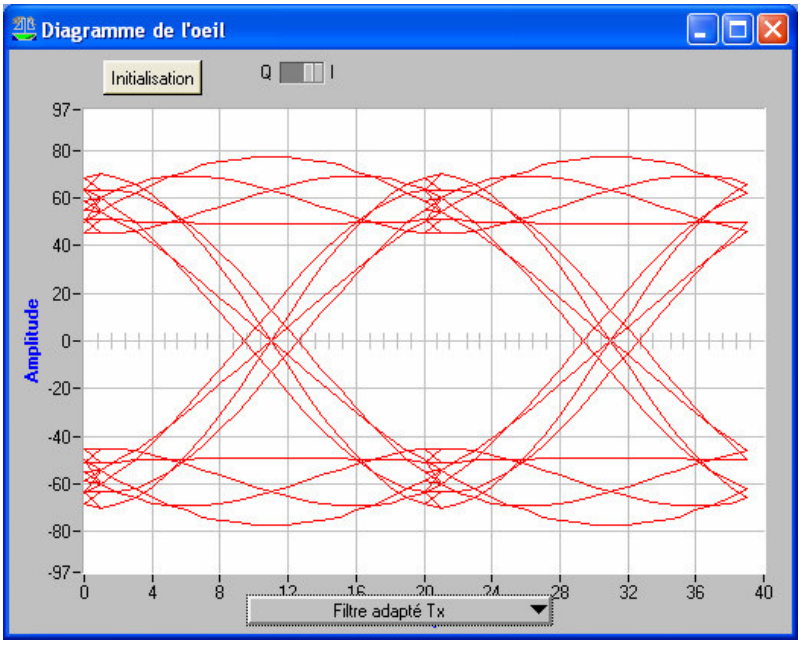




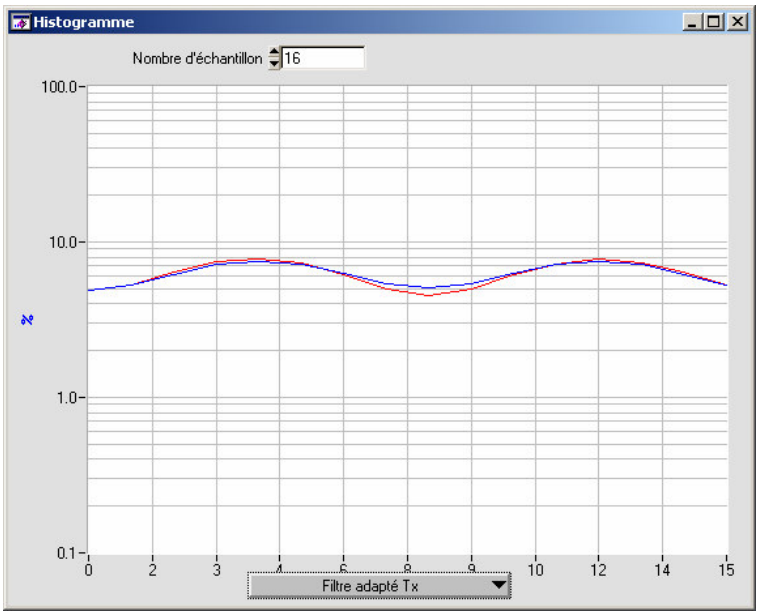
L'utilisateur peut modifier ce choix et choisir de visualiser le résultat de l'un des traitements du séquençage. L'utilisateur peut modifier la durée de l'affichage, le type d'affichage (signaux I et Q ou modulé et phase) et peut aussi, comme dans le cas du spectre, mémoriser des signaux pour les réafficher plus tard (utilisation des boutons M+, M-, Mc et Mr). Le signal bleu est soit l'amplitude du signal I en fonction du temps soit l'amplitude de l'échantillon. Le signal rouge est soit l'amplitude du signal Q (voie en quadrature) en fonction du temps soit la phase du signal (phase comprise entre $-\pi$ et $+\pi$).
Le menu déroulant (indiquant ici « Filtre adapté Tx ») permet de visualiser un autre signal temporel.

Oeil :

Cette option permet d'afficher le diagramme de l'œil. L'utilisateur peut choisir entre la voie I et la voie Q et peut aussi modifier le signal à afficher. Le bouton « Initialisation » permet d'effacer la fenêtre pour recommencer l'affichage du signal.



Histogramme : L'histogramme permet de tracer le pourcentage d'énergie observé en fonction du numéro d'échantillon. Ceci permet par exemple de déterminer le peigne d'échantillonnage optimal pour la démodulation.



Statistique: Ceci permet d'afficher une statistique sur le signal, c'est-à-dire la probabilité pour que la phase, l'amplitude, la voie I ou la voie Q vaille telle ou telle valeur. A titre d'exemple, les figures ci-dessous représentent la statistique d'une modulation QPSK avec et sans filtrage de Nyquist.

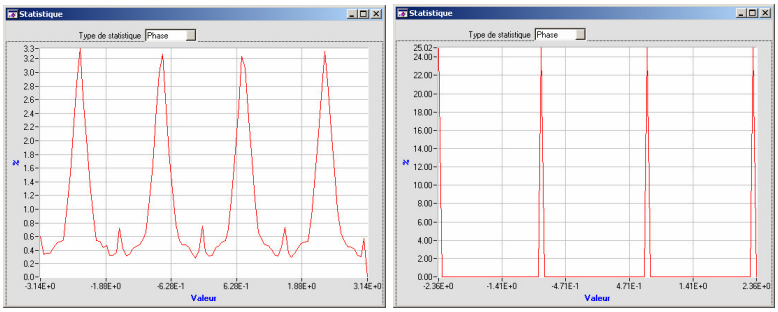
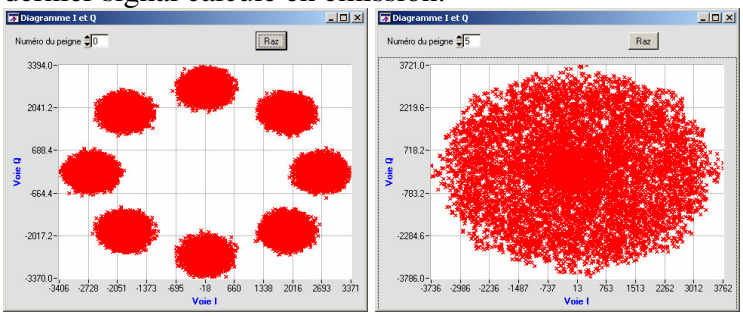


Diagramme IQ: Ceci affiche les échantillons I et Q en fonction du numéro du peigne. La figure ci-dessous représente les 8 états de phase d'une modulation 8PSK, avec un peu de bruit sur le bon peigne et le mauvais peigne. Le signal visualisé est toujours le dernier signal calculé en émission.



Fenêtres en cascade: Permet de mettre toutes les fenêtres ouvertes en cascade.

Scénario

Un scénario est un ensemble de fichiers de configuration qui peuvent être simulés. Chaque fichier de configuration est une simulation avec ces paramètres particulier comme le temps de simulation ou le rapport signal sur bruit. Exécuter un scénario permet donc de faire un ensemble de simulations sans avoir besoin de modifier manuellement les paramètres de chaque simulation : c'est un mode sans opérateur permettant de faire travailler l'ordinateur la nuit par exemple. Par exemple, cela permet d'évaluer les performances d'une forme d'onde en effectuant la simulation pour différentes valeurs du rapport Eb/N0 et de calculer le TEB.

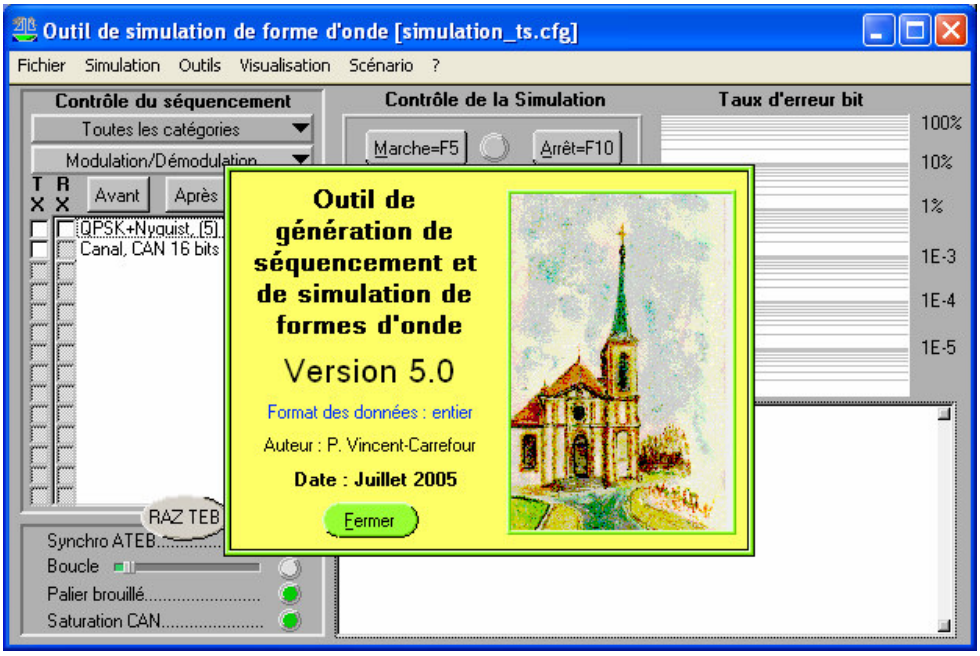
Initialisation : Pour démarrer un nouveau scénario, l'utilisateur sélectionne cette option.

Ajoute point : Après avoir programmé les différents paramètres de son point de simulation, l'opérateur choisit cette option pour ajouter le point au scénario.

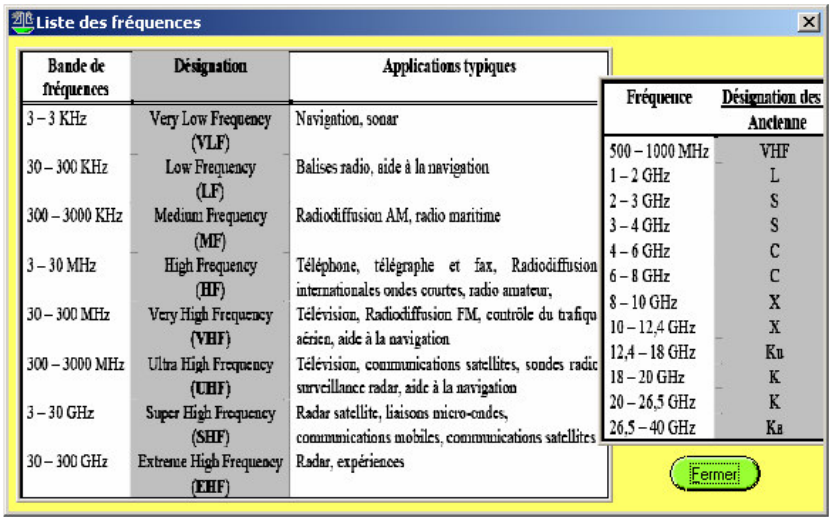
Déroule : Une fois l'ensemble des points de la simulation déterminé, l'utilisateur exécute le scénario au moyen de cette option.

?

Version : Cette option permet d'ouvrir une fenêtre qui affiche la version utilisée de l'outil et le type de données que le programme utilise (format entier ou réel). La version « réel » permet de s'affranchir des problèmes de dynamique.



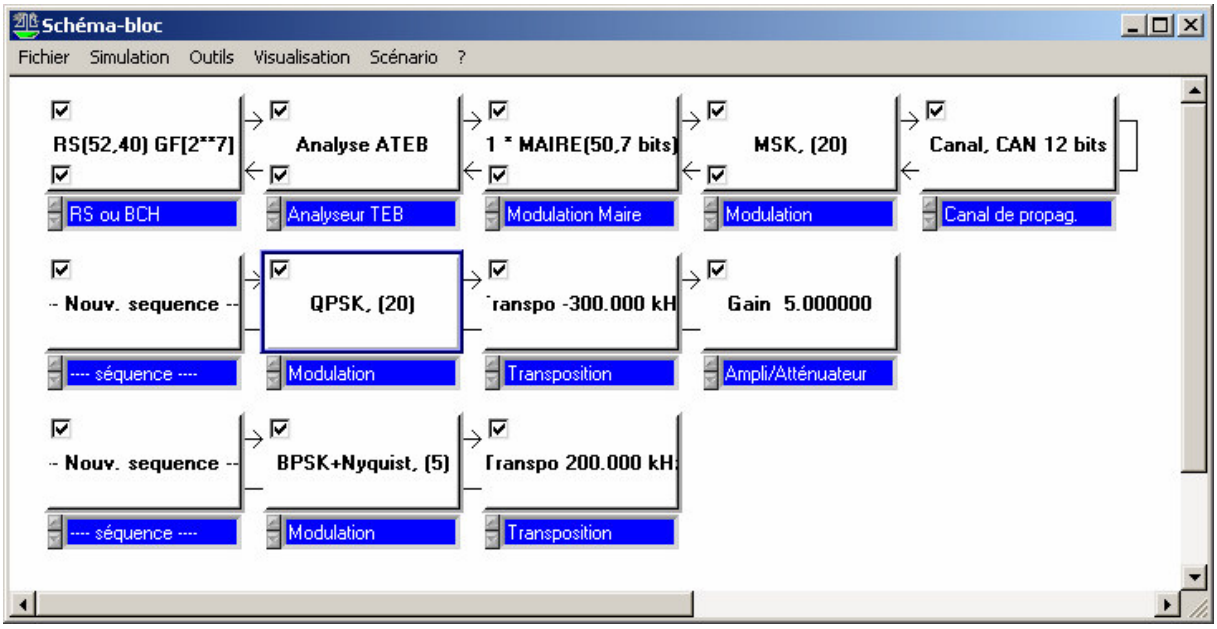
Liste des fréquences: Affiche la nomenclature des fréquences.



Evolutions prévues : Indique la liste des évolutions prévues.

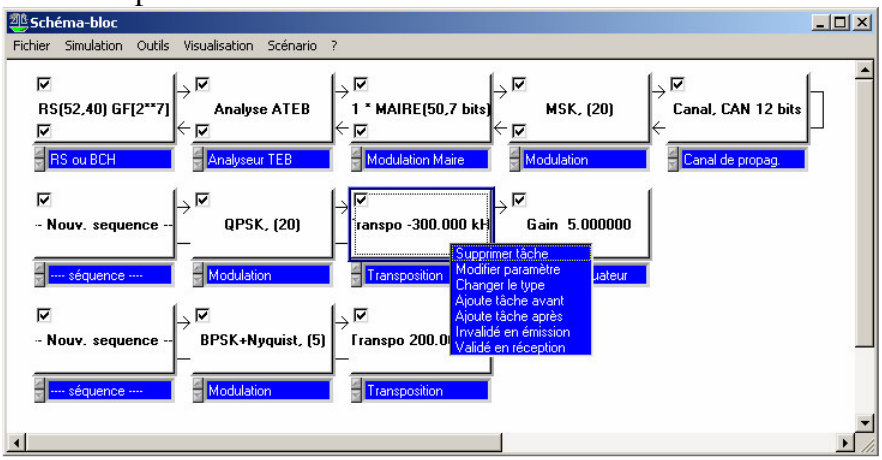
J. Schéma-bloc

Le schéma-bloc permet de créer un séquençage et de le visualiser graphiquement. Moyennant l'utilisation de la souris et de touches du clavier, l'utilisateur peut ajouter ou supprimer des traitements puis modifier le type du traitement et ses paramètres associés.



Les différentes actions possibles sont les suivantes :

- **Accéder au schéma-bloc** :
  sélectionner l'option appropriée du menu Fichier. Le séquençage est alors affiché sous forme d'un ensemble de boîtes reliées entre elles par des flèches comme dans la figure ci-dessus.
- **Sélectionner un traitement** :
  positionner le curseur de la souris sur un traitement puis cliquer avec le bouton gauche de la souris ; la case est alors sélectionnée et apparaît en gris foncé.
- **Insérer d'un traitement** :
  - utiliser la touche INS du clavier qui permet d'insérer un nouveau traitement dans le séquençage juste avant le traitement sélectionné. Le traitement ajoute est le traitement spécifié dans la fenêtre principale.
  - Sur un traitement, cliquer sur le bouton gauche de la souris pour ouvrir un menu qui permet, en particulier, d'ajouter un traitement avant ou après le traitement pointé par la souris. Pour sélectionner une option de ce menu faire un double-clic sur l'option désirée.

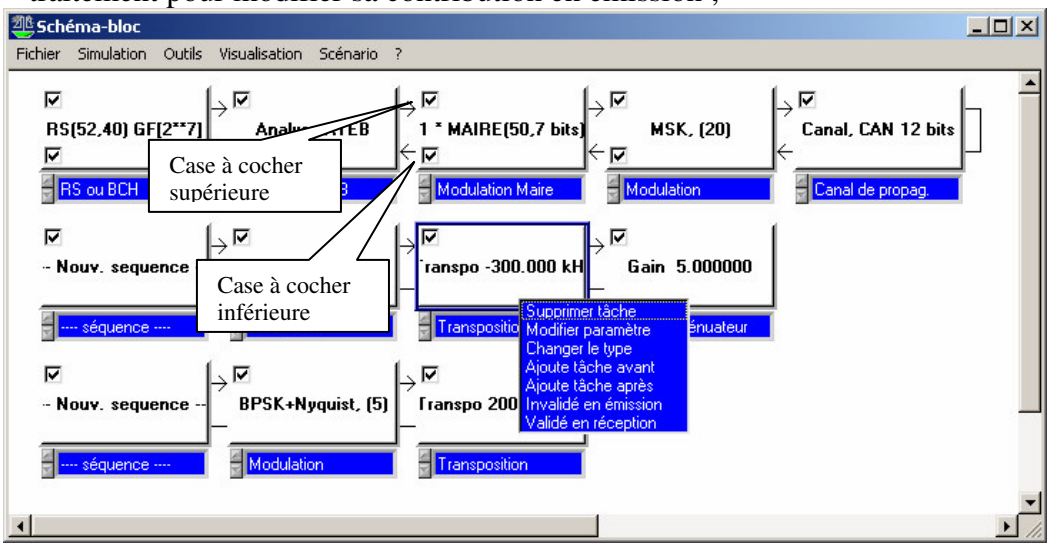


  Le type de traitement créé par défaut est toujours « Simuler un TEB ».
  - Pour ajouter un traitement à la fin de la séquence, on peut opérer par un clic droite dans une partie vide de la fenêtre Schéma-bloc et sélectionner l'option « Ajoute tâche ». Une boîte « TEB=0.0 » est ajoutée en bout de chaîne.

- **Déplacer d'un traitement** :

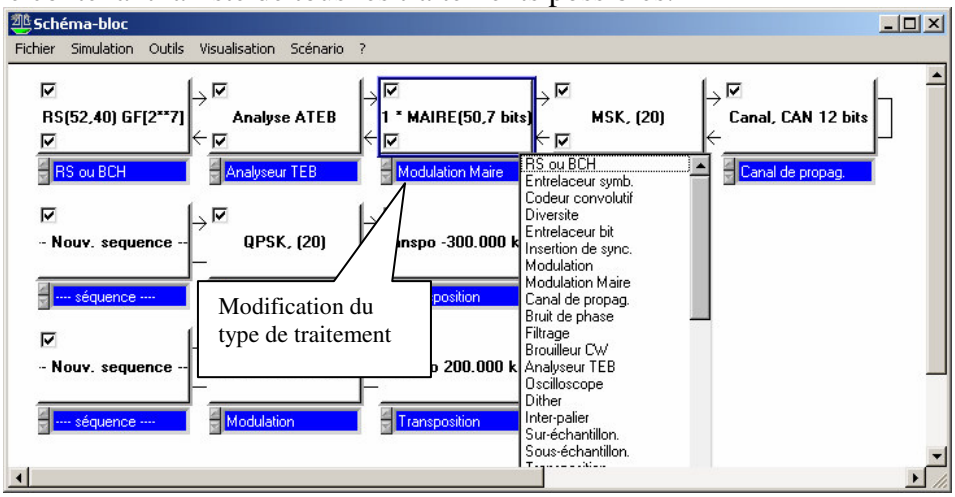
  Il est possible de déplacer un traitement vers la droite (après) ou vers la gauche (avant).

- **Supprimer un traitement** :
  - utiliser la touche DEL du clavier pour supprimer le traitement sélectionné.
  - utiliser le clic droit de la souris pour ouvrir le menu et sélectionner l'option permettant de supprimer un traitement.
- **Activer un traitement en émission ou/et en réception** :
  - Cliquer dans la case « à cocher » supérieure de la boîte représentant le traitement pour modifier sa contribution en émission ;
  - Cliquer dans la case « à cocher » inférieure de la boîte représentant le traitement pour modifier sa contribution en émission ;



  - utiliser le clic droit de la souris pour ouvrir le menu et sélectionner l'option permettant de modifier la contribution du traitement en émission ou en réception.

- **Changer le type de traitement** ;
  - utiliser le clic droit de la souris pour ouvrir le menu et sélectionner l'option permettant de changer le type de traitement. Cette action permet d'ouvrir une fenêtre contenant la liste de tous les traitements possibles.



Sélectionner le type désiré en faisant un double-clic.

  - Utiliser le bouton juste en dessous du traitement pour ouvrir une liste qui permet de changer le type de traitement.

- **Changer les paramètres d'un traitement** ;
  - Double-cliquer avec le bouton gauche de la souris pour ouvrir la fenêtre contenant les différents paramètres associés au traitement. On peut aussi utiliser le clic droit pour ouvrir le menu et choisir l'option « Modifier paramètres ». Après modification des paramètres, appuyer sur la touche Entrée du clavier et fermer la fenêtre. Les nouveaux paramètres sont alors pris en compte.
  - utiliser le clic droit de la souris pour ouvrir le menu et sélectionner l'option permettant de modifier les paramètres. Cette action permet d'ouvrir une fenêtre contenant les différents paramètres associés au traitement. L'utilisateur peut, après modification, fermer cette nouvelle fenêtre pour que les nouveaux paramètres soient pris en compte.

K. Exemple de fichier filtre

Nombre de coef. = 40
Nombre de bandes = 2
Pondération = 2.000000
bande n°0
limite inférieure = 0.000000
limite supérieure = 0.007000
Valeur constante = 1.000000
Pondération = 1.000000
bande n°1
limite inférieure = 0.112000
limite supérieure = 0.500000
Valeur constante = 0.000000
Pondération = 1.000000
Coeff[000] = -0.00006564
Coeff[001] = -0.00028140
Coeff[002] = -0.00075136
Coeff[003] = -0.00157979
Coeff[004] = -0.00281733
Coeff[005] = -0.00440319
Coeff[006] = -0.00610687
Coeff[007] = -0.00749417
Coeff[008] = -0.00793388
Coeff[009] = -0.00666092
Coeff[010] = -0.00289532
Coeff[011] = 0.00399591
Coeff[012] = 0.01432486
Coeff[013] = 0.02793490
Coeff[014] = 0.04412021
Coeff[015] = 0.06164249
Coeff[016] = 0.07885677
Coeff[017] = 0.09393263
Coeff[018] = 0.10513446
Coeff[019] = 0.11110680
Coeff[020] = 0.11110680

Coeff[021] = 0.10513446
Coeff[022] = 0.09393263
Coeff[023] = 0.07885677
Coeff[024] = 0.06164249
Coeff[025] = 0.04412021
Coeff[026] = 0.02793490
Coeff[027] = 0.01432486
Coeff[028] = 0.00399591
Coeff[029] = -0.00289532
Coeff[030] = -0.00666092
Coeff[031] = -0.00793388
Coeff[032] = -0.00749417
Coeff[033] = -0.00610687
Coeff[034] = -0.00440319
Coeff[035] = -0.00281733
Coeff[036] = -0.00157979
Coeff[037] = -0.00075136
Coeff[038] = -0.00028140
Coeff[039] = -0.00006564

L. Acronymes et lexique des fichiers

ATEB	Analyseur de taux d'erreur binaire
BBG	Bruit Blanc Gaussien
BCH	Bose, Ray-Chaudhuri, Hocquenghem
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CAN	Convertisseur Analogique Numérique
CNA	Convertisseur Numérique Analogique
EVF	Evasion de Fréquence
FFT	Fast Fourier Transform
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
IIR	Infinite Impulse Response
MSK	Minimum Shift Keying
NaN	Not A Number (indique un dépassement de capacité)
Pbd	Probabilité de bon décodage
PN	Pseudo Noise
RS	Reed Solomon
TEB	Taux d'Erreur Binaire

Les noms de fichiers qui sont créés ou utilisés par le programme sont :

- **50_7.dat** : exemple de fichier binaire permettant de mettre en œuvre l'étalement de spectre : 128 (soit 2^7) séquences de 50 bits.
- ***.IQ** fichier texte ou binaire contenant un signal (cf. paragraphe E).
- **Adjacent.dat** : fichier binaire contenant le signal créé pour simuler les canaux adjacents.
- **BilanLiaison.txt** : résultats du bilan de liaison (menu Outils) ; fichier de type texte qui peut être modifié par un éditeur classique par exemple Bloc-notes.

- **Defaut.filtre** ou ***.filtre** : nom (par défaut) du fichier de sauvegarde des coefficients du filtre FIR calculé par la fonction Conception de filtre (menu Outils) ; ce filtre peut être utilisé par le traitement « Filtrage FIR ».
- **IRREDUC_GF2.dat** : fichier binaire contenant la liste des 8192 premiers polynômes irréductibles dans GF[2].
- **Nyquist.txt** : fichier texte contenant les coefficients du dernier filtre de Nyquist utilisé.
- **simulation_ts.cfg** ou ***.cfg** : fichier de configuration (par défaut) ; il contient toutes les informations relatives à la suite des traitements définis par l'utilisateur ; les fonctions « Charger » et « Sauvegarder » du menu Fichier permettent de choisir d'autres noms pour le fichier de configuration ; c'est un fichier binaire.
- **Soft_Ts.ecran** : fichier binaire contenant la position et la taille des différentes fenêtres ouvertes par l'utilisateur ; cela permet de quitter et de redémarrer Soft_ts en retrouvant la même apparence à l'écran.
- **Soft_Ts.lan** : fichier texte contenant la syntaxe du langage utilisé pour écrire les fonctions utilisateur.